

## KAJIAN PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN SUDUT PADA HULU BENDUNG BERTANGGA TERHADAP KOEFISIEN DEBIT DAN LONCATAN AIR PADA SKALA LABORATORIUM

Effect of Upstream Angular Slope on Discharge Coefficient and Hydraulic Jump  
in Cascade Weirs: A Laboratory Study

Suhudi<sup>1</sup>, Kiki Frida Sulistyawati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi, Malang, Indonesia

Corresponding Author: [suhudisuhudi2@gmail.com](mailto:suhudisuhudi2@gmail.com)

### Article Info

Page:  
13 – 22

Submission Date:  
14 / Agustus / 2023

Accepted Date:  
29 / November / 2023

Published Date:  
10 / Desember / 2023

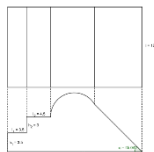
**Keywords:** Upstream,  
cascade weir, discharge  
coefficient, hydraulic jump.

### EMAIL

<sup>1</sup> [suhudisuhudi2@gmail.com](mailto:suhudisuhudi2@gmail.com)

**Kata kunci:** Hulu, bendung  
bertangga, koefisien debit,  
lompatan hidrolis

### Main Figure



### ABSTRACT

Cascade weir is a water structure that functions to raise the water level, so that more water is collected and the water level is higher. Weirs are commonly used for irrigation purposes, raw water supply, flood control, sediment control and others. Cascade weir is a modification of the launch channel by making several stairs from a location near the top of the weir to the foot downstream of the weir. The purpose of the cascade weir is to increase energy dissipation. The weir also has a variety of slopes that are used to raise the water level, because the existence of this weir will result in a hard flow downstream so that the water jumps. This research is expected to be able to see the characteristics of the flow that occurs in the spillway. These characteristics include flow rate, water depth, flow velocity and specific energy generated due to hydraulic jumps

### ABSTRAK

Bendung bertangga dapat berfungsi sebagai peredam energi pada transisi luncuran aliran. Merupakan bangunan air yang berfungsi untuk meninggikan muka air, agar air yang terkumpul menjadi lebih banyak dan elevasi muka air menjadi lebih tinggi. Bendung biasa digunakan untuk keperluan irigasi, penyediaan air baku, pengendalian banjir dan pengendalian sedimen. Bendung bertangga adalah modifikasi saluran peluncur dengan membuat beberapa tangga dari lokasi dekat puncak bendung sampai kaki di hilir bendung. Tujuan dari bendung bertangga adalah meningkatkan peredaman energi. Bendung juga memiliki berbagai macam variasi kemiringan yang digunakan untuk meninggikan muka air, karena adanya bendung ini akan mengakibatkan adanya aliran keras di bagian hilir sehingga timbulnya loncatan air. Penelitian ini diharapkan mampu melihat karakteristik aliran yang terjadi pada pelimpah tersebut. Karakteristik tersebut meliputi, kedalaman air, kecepatan aliran dan energi spesifik yang dihasilkan akibat loncatan hidrolis.

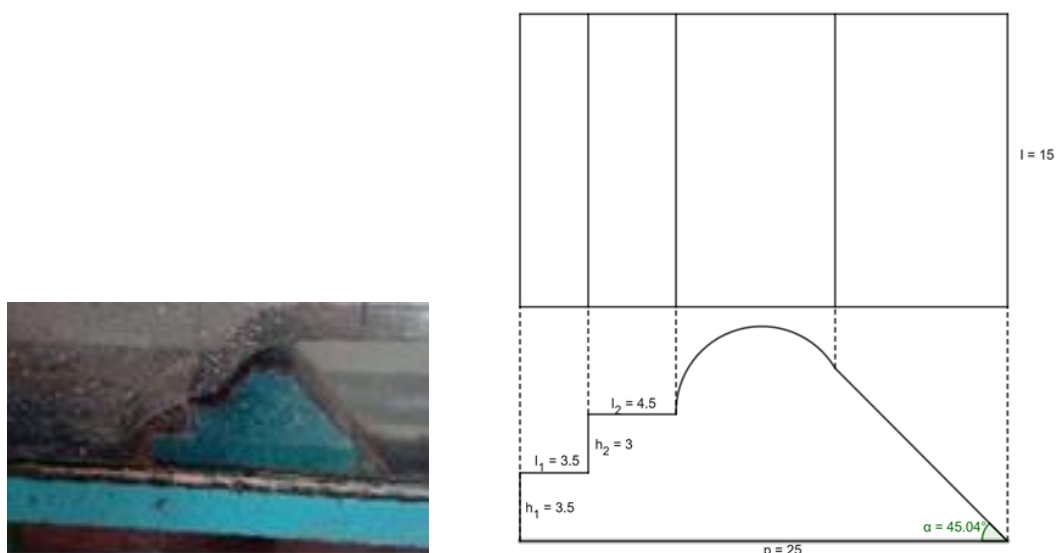
### PENDAHULUAN

Bendung merupakan bangunan air yang berfungsi untuk meninggikan muka air, agar air yang terkumpul menjadi lebih banyak dan elevasi muka air menjadi lebih tinggi. Bendung biasa digunakan untuk keperluan irigasi, penyediaan air baku, pengendalian banjir, pengendalian sedimen dan lain-

lain. Bendung bertangga adalah modifikasi saluran peluncur dengan membuat beberapa tangga dari lokasi dekat puncak bendung sampai kaki di hilir bendung. Tujuan dari bendung bertangga adalah meningkatkan peredaman energi dan mengurangi kelebihan energi yang terjadi pada saluran luncur [1]. Bentuk mercu bendung dapat berpengaruh terhadap koefisien debit, yaitu perbandingan antara debit nyata dan debit teoritis [2]. Mercu tipe ogee adalah bentuk mercu bendung yang sering digunakan. Mercu tipe ogee memiliki bentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi[3]. Mercu ini tidak akan memberikan tekanan sub atmosfer pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana, sehingga lebih banyak digunakan untuk bangunan air di saluran irigasi maupun bangunan pelimpah. Jari-jari dari mercu mempengaruhi besar nilai koefisien debit dan aliran [4]. Berdasarkan dari penelitian tersebut, maka perlu diketahui perubahan koefisien debit pada perubahan hulu bendung. Mercu bendung yang digunakan adalah tetap namun apakah mengalami perubahan bila hulu bendungnya divariasikan. Penelitian ini dilakukan pemasangan bendung bertangga dengan 3 variasi kemiringan hulu yang berbeda. Aliran super kritis terjadi di hilir kaki bendung akan menghasilkan gerusan lokal, dan terjadinya sedimentasi pada hulu bendung dengan kecepatan yang terendah. Hal ini dapat mengganggu kestabilan aliran air di saluran irigasi, yaitu berpengaruh pada debit aliran yang sampai di lahan sawah. Pada penelitian ini diharapkan mampu melihat karakteristik aliran yang terjadi pada variasi kemiringan hulu bendung bertangga dan efeknya terhadap koefisien debit dan loncatan air. Karakteristik tersebut meliputi debit aliran, kedalaman air, kecepatan aliran dan energy spesifik yang dihasilkan akibat besar maksimal nilai  $C_d$ , kedalaman maksimal air, dan panjang maksimal loncatan hidrolisnya.

## METODE

Penelitian ini dilakukan atau dipraktikkan langsung pada Laboratorium Hidrolika Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang sebagai simulasi di lapangan. Dibawah ini merupakan gambar simulasi saat penelitian pada laboratorium, sebagai berikut:



Gambar 1. Dimensi miniatur bendung dengan panjang 25 cm dan lebar 15 cm pada saluran pengamatan 4,2 m



a) b) c)  
Gambar 2. Simulasi aliran pada saluran dengan variasi kemiringan mercu bendung pada: a) 3:0, b) 3:1, c) 3:3

#### Rancangan percobaan

Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Hidrolika Tribhuwana Tungadewi Malang, penelitian dilakukan dengan pengambilan data yang sesuai dengan rancangan penelitian yang telah dibuat mulai dari perletakan benda uji bendung bertangga, titik pengukuran, jumlah variasi debitnya, dan variasi kemiringan hulu yaitu kemiringan hulu 3:0, 3:1 dan 3:3. Data penelitian ini menggunakan tiga variasi debit dimana  $Q1 < Q2 < Q3$ , dengan debit seperti ini makahasil yang dicari atau didapatkan dari laboratorium mendapatkan tinggi muka air ( $h$ ), kecepatan air ( $v$ ), dan panjang loncatan. Pada saat pengambilan data ini dilakukan beberapa pengukuran untuk mendapatkan data yang diinginkan seperti pengukuran tinggi muka air ( $h$ ), kecepatan air ( $v$ ) dan panjang loncatan dengan perulangan atau percobaan 1 kali di laboratorium. Untuk perulangan atau percobaan kecepatan air ( $v$ ) 3 kali, dalam 1 perulangan 10 menit waktu yang digunakan.

Tabel 1. Rancangan percobaan

No	Debit	Kemiringan hulu	Pengukuran		
1	Q1	3:0	$h_{Q13;0}$	$v_{Q13;0}$	$L_{Q13;0}$
		3:1	$h_{Q13;1}$	$v_{Q13;1}$	$L_{Q13;1}$
		3:3	$h_{Q13;3}$	$v_{Q13;3}$	$L_{Q13;3}$
2	Q2	3:0	$h_{Q23;0}$	$v_{Q23;0}$	$L_{Q23;0}$
		3:1	$h_{Q23;1}$	$v_{Q23;1}$	$L_{Q23;1}$
		3:3	$h_{Q23;3}$	$v_{Q23;3}$	$L_{Q23;3}$
3	Q3	3:0	$h_{Q33;0}$	$v_{Q33;0}$	$L_{Q33;0}$
		3:1	$h_{Q33;1}$	$v_{Q33;1}$	$L_{Q33;1}$
		3:3	$h_{Q33;3}$	$v_{Q33;3}$	$L_{Q33;3}$

(Sumber :Rancangan percobaan, 2021)

#### Pengumpulan data

Pengumpulan data saat penelitian di laboratorium dilakukan pengukuran tinggi muka air ( $h$ ), kecepatan air ( $v$ ), dan panjang loncatan hidrolis. Pengukuran dalam pelaksanaan pengambilan data dilakukan pada 19 titik pada saluran untuk mendapatkan data tinggi muka air dan kecepatan air pada saluran tersebut. Titik pengukuran itu berada pada hulu bendung bertangga ada 5 titik dari 250-290 cm, kemudian 3 titik dipasang di atas bendung bertangga pada titik 300 – 310 cm, setelah itu 11 titik dipasang pada hilir bendung bertangga 315 - 380 cm.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan pengambilan data yang sesuai dengan alur penelitian yang telah direncanakan. Pemasangan benda uji dan titik pengukuran pada saluran. Dari penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi kemiringan hulu bendung terhadap koefisien debit, pengaruh variasi kemiringan hulu bendung dengan tinggi muka air tetap terhadap loncatan air dan Untuk mengetahui energy spesifik yang terjadi pada setiap kondisi.

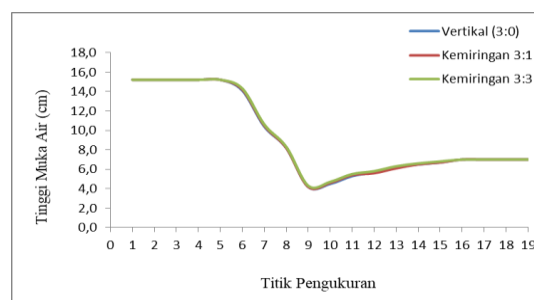
Hasil dan pembahasan tinggi muka air (h).

Untuk mendapatkan tinggi muka air diperlukan data tinggi air. Tinggi air didapat dari pengukuran menggunakan alat point *gauge* dari dasar saluran[5]. Pengukuran dilakukan pada 19 titik di setiap posisi yang telah ditentukan. Ke-19 titik tersebut berada pada posisi 250 – 290 (sebelum benda uji), 300 – 310 (di atas benda uji), 315-380 (setelah benda uji). Pada titik-titik yang ditentukan tersebut juga menjadikan sebagai patokan dalam pengambilan data tinggi muka air (h), dan kecepatan air (v). Pada tabel dapat diamati bahwa pada kondisi A (hulu bendung bertangga) saat aliran dibendung maka ketinggian air konstan yaitu pada posisi 250 sampai 280 cm, dengan tinggi muka airnya adalah 13,5 cm. ketinggian air mulai menurun pada posisi 290 cm sampai 315 cm. Sedangkan pada kondisi C (hilir bendung bertangga) ketinggian air meningkat kembali hingga stabil. Dari hasil pengukuran dan pengamatan tinggi muka air pada Q2 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air untuk kemiringan hulu yang berbeda mempunyai pola yang sama. Tinggi air pada hulu bendung bertangga meningkat dan mempunyai tinggi air yang sama, hal ini dikarenakan aliran di bendung dan terjadi pada kemiringan hulu yang berbeda. Kemudian tinggi air mulai menurun dan berbeda saat di atas mercu bendung sampai kaki bendung, tinggi muka air kembali meningkat dan terjadi loncatan hingga kembali konstan. Pada tabel 2 dibawah ini merupakan hasil dari penelitian menggunakan bendung bertangga dengan kemiringan hulu 3:0, 3:1 dan 3:3.

Tabel 2. Hasil ketinggian muka air (h) pada Q2 untuk kemiringan hulu 3:0, 3:1 dan 3:3

Titik	Posisi (cm)	Kondisi	HQ2 (cm)		
			3;0	3;1	3;3
1	250	A	15,2	15,2	15,2
2	260		15,2	15,2	15,2
3	270		15,2	15,2	15,2
4	280		15,2	15,2	15,2
5	290		15,2	15,2	15,2
6	300	B	14,1	14,2	14,3
7	305		10,4	10,5	10,6
8	310		8,2	8,2	8,3
9	315	C	4,2	4,2	4,3
10	320		4,5	4,6	4,7
11	325		5,3	5,4	5,5
12	330		5,7	5,6	5,8
13	335		6,2	6,1	6,3
14	340		6,5	6,5	6,6
15	345		6,7	6,7	6,8
16	350		7,0	7,0	7,0
17	360		7,0	7,0	7,0
18	370		7,0	7,0	7,0
19	380		7,0	7,0	7,0

(Sumber: Data yang diolah, 2022)



Gambar 6. Tinggi muka air pada Q2 untuk kemiringan hulu 3:0, 3:1 dan 3:3

Ketinggian muka air (h) pada Q2 untuk masing-masing kemiringan hulu mengalami tipe atau pola aliran air yang sama. Pada tabel 2 dapat diamati bahwa pada kondisi A (hulu bendung bertangga) saat aliran dibendung maka ketinggian air konstan. Pada kondisi B (bendung bertangga) saat aliran melewati bendung bertangga maka ketinggian air mulai menurun (posisi 300 cm sampai 315 cm). Sedangkan pada kondisi C (hilir bendung bertangga) ketinggian air meningkat kembali hingga stabil. Dari hasil pengukuran dan pengamatan tinggi muka air pada Q2 dapat disimpulkan bahwa tinggi muka air untuk kemiringan hulu yang berbeda mempunyai pola yang sama.

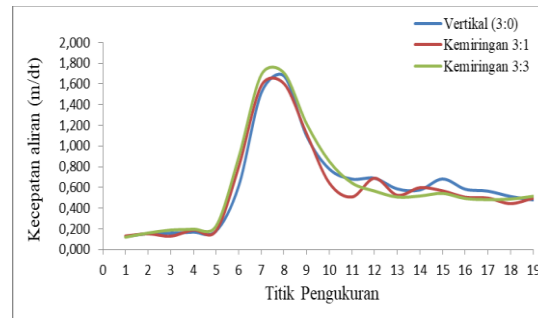
#### Hasil kecepatan air (v)

Hasil pengukuran kecepatan pada Q2 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3 dapat dilihat pada tabel 3. pada tabel dapat diamati bahwa kecepatan aliran pada kondisi A (hulu bendung bertangga) meningkat, kemudian pada kondisi B (bendung bertangga) kecepatan aliran semakin meningkat sedangkan pada kondisi C (hilir bendung bertangga) kecepatan aliran mulai menurun hingga konstan. Kecepatan aliran tertinggi pada Q2 berada pada titik ke 7 sampai 9 (posisi 305 cm sampai 315 cm) dan kecepatan aliran mengalami transisi terletak pada posisi 315 cm. Pada tabel dapat dilihat bahwa kecepatan aliran untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:3 lebih besar dari kemiringan hulu 3:1 dan 3:0, begitu pula dengan kemiringan hulu 3:1 lebih besar dari kemiringan hulu 3:0. Dari hasil pengukuran dan pengamatan dapat disimpulkan bahwa semakin besar kemiringan hulu bendung bertangga maka semakin besar pula kecepatan alirannya[6].

Tabel 3. Hasil kecepatan air (v) pada Q2 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3

Titik	Posisi (cm)	Kondisi	VQ2 (m/dt)		
			3;0	3;1	3;3
1	250	A	0,125	0,131	0,120
2	260		0,154	0,153	0,160
3	270		0,159	0,130	0,189
4	280		0,169	0,190	0,197
5	290		0,178	0,181	0,227
6	300	B	0,613	0,798	0,891
7	305		1,514	1,583	1,689
8	310		1,677	1,603	1,707
9	315	C	1,096	1,118	1,214
10	320		0,778	0,644	0,853
11	325		0,681	0,508	0,643
12	330		0,689	0,689	0,565
13	335		0,586	0,525	0,508
14	340		0,576	0,598	0,517
15	345		0,682	0,567	0,543
16	350		0,583	0,506	0,494
17	360		0,565	0,497	0,483
18	370		0,513	0,444	0,488
19	380	0,480	0,497	0,515	

(Sumber: Data yang diolah, 2022)



Gambar 7. Kecepatan air (v) pada Q2 untuk kemiringan hulu 3:0, 3:1 dan 3:3

#### Hasil bilangan *froude*

Aliran dikatakan kritis apabila bilangan Froude ( $F$ ) sama dengan satu (1), sedangkan aliran disebut subkritis (*trianguil flow*) apabila  $F < 1$  dan disebut super kritis atau aliran cepat (*rapid flow*) apabila  $F > 1$ . Perbandingan kecepatan aliran dengan gaya gravitasi (per satuan volume) dikenal sebagai bilangan Froude dan dapat dirumuskan sebagai berikut [7]. Perhitungan bilangan *Froude* bisa membuktikan atau mengetahui apakah aliran yang terjadi mengalami aliran subkritis, kritis atau super kritis. Bilangan Froude pada Q2 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3;0, 3;1 dan 3;3 dapat dilihat pada tabel 4. Berdasarkan tabel 4. Dibuat grafik pada gambar untuk menggambarkan bilangan froude pada saat Q2 di setiap kondisi. Hasil perhitungan dan pengamatan pada tabel 4.

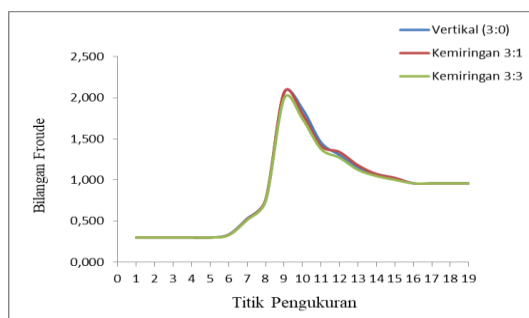
Dapat dilihat bilangan Froude antara kemiringan hulu 3;0, 3;1 dan 3;3 memiliki pola yang sama yaitu Pada posisi 250 cm sampai posisi 290 cm bilangan froudenya sama dengan jenis alirannya adalah subkritis saat aliran di atas bendung dan Bilangan Froude mulai meningkat pada posisi 300 cm sampai 315 cm dan terjadi perubahan aliran dari subkritis menjadi superkritis pada posisi 315 cm sampai 345 cm. kemudian bilangan Froude kembali menurun dan aliran mengalami transisi pada posisi 345 cm hingga aliran kembali konstan.

Tabel 4. Hasil Bilangan *Froude* pada Q2 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3

Titik	Posisi (cm)	Kondisi	bilangan froude					
			Q2					
			3;0	jenis aliran	3;1	jenis aliran	3;3	jenis aliran
1	250	A	0,300	subkritis	0,300	subkritis	0,300	subkritis
2	260		0,300	subkritis	0,300	subkritis	0,300	subkritis
3	270		0,300	subkritis	0,300	subkritis	0,300	subkritis
4	280		0,300	subkritis	0,300	subkritis	0,300	subkritis
5	290		0,300	subkritis	0,300	subkritis	0,300	subkritis
6	300	B	0,336	subkritis	0,332	subkritis	0,329	subkritis
7	305		0,530	subkritis	0,522	subkritis	0,515	subkritis
8	310		0,757	subkritis	0,757	subkritis	0,743	subkritis

Titik	Posisi (cm)	Kondisi	bilangan froude					
			Q2					
			3;0	jenis aliran	3;1	jenis aliran	3;3	jenis aliran
9	315	C	2,065	superkritis	2,065	superkritis	1,993	superkritis
10	320		1,862	superkritis	1,801	superkritis	1,744	superkritis
11	325		1,457	superkritis	1,416	superkritis	1,378	superkritis
12	330		1,306	superkritis	1,341	superkritis	1,272	superkritis
13	335		1,151	superkritis	1,180	superkritis	1,124	superkritis
14	340		1,072	superkritis	1,072	superkritis	1,048	superkritis
15	345		1,025	superkritis	1,025	superkritis	1,002	superkritis
16	350		0,960	subkritis	0,960	subkritis	0,960	subkritis
17	360		0,960	subkritis	0,960	subkritis	0,960	subkritis
18	370		0,960	subkritis	0,960	subkritis	0,960	subkritis
19	380		0,960	subkritis	0,960	subkritis	0,960	subkritis

(Sumber : Data yang diolah, 2022)



Gambar 8. Bilangan froude Q2

Berdasarkan pada gambar 8 dapat diberikan penjelasan bahwa jenis aliran tidak berubah karena perubahan kemiringan hulu bendung bertangga.

**Koefisien Debit (Cd)**

Cd merupakan koefisien debit pada bendung[8]. Diketahui bendung bertangga dengan sisi hulu vertical di posisi pengamatan ke 300 cm tinggi bendung bertangga 11 cm, tinggi muka air di atas bendung bertangga (Ho) 5 cm, tinggi muka air di hilir bendung bertangga 4,3 cm.

Persamaan koefisien debit:

$$CD = \frac{Q}{\frac{2}{3} Be \sqrt{2.g} b.y_1^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- Q = debit (m<sup>3</sup>/dt)
- Cd = koefisien debit
- g = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)
- Be = lebar efektif bendung (m)
- B = lebar saluran
- y<sub>1</sub> = tinggi muka air di atas
- b = bendung (m)

Tabel 5. Hasil koefisien debit pada Q2 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3

PERHITUNGAN KOEFISIEN DEBIT Q2															
Titik	Posisi (cm)	b (m)	h (m)	Be (m)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	3:0			3:1			3:3			
						Cd	h (m)	Be (m)	Cd	h (m)	Be (m)	Cd	h (m)	Be (m)	Cd
1	250	0,15	0,152	0,15	0,008352	2,12129	0,152	0,2	1,59053	0,152	0,25	1,27278			
2	260	0,15	0,152	0,15	0,008352	2,12129	0,152	0,2	1,59053	0,152	0,25	1,27278			
3	270	0,15	0,152	0,15	0,008352	2,12129	0,152	0,2	1,59053	0,152	0,25	1,27278			
4	280	0,15	0,152	0,15	0,008352	2,12129	0,152	0,2	1,59053	0,152	0,25	1,27278			
5	290	0,15	0,152	0,15	0,008352	2,12129	0,062	0,2	6,10547	0,072	0,25	3,90408			
6	300	0,15	0,031	0,15	0,008352	23,03158	0,032	0,2	16,46577	0,033	0,25	12,58191			
Cd rata-rata perlakuan						5,60634			4,82223			3,59618			

(Sumber: Data yang diolah, 2022)

Pada perhitungan koefisien debit (Cd) di atas dapat dilihat bahwa Cd pada kemiringan 3:0 lebih besar dari kemiringan 3:1 dan 3:3, yaitu pada kemiringan hulu bendung bertangga 3:0 koefisien debitnya adalah 5,6 dan pada kemiringan hulu bendung bertangga 3:1 adalah 4,8 serta koefisien debit pada kemiringan hulu bendung bertangga 3:3 adalah 3,6. Kemudian dapat disimpulkan bahwa semakin besar kemiringan hulu bendung bertangga maka semakin kecil koefisien debitnya, pada debit yang sama.

#### Panjang loncatan

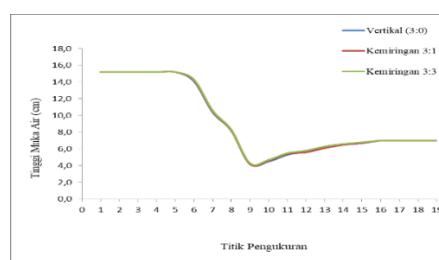
Loncatan air terjadi akibat adanya perubahan aliran dari aliran super kritis menjadi aliran subkritis [9]. Panjang loncat air tidak ada rumus teoritis yang dapat digunakan untuk menghitungnya. Panjang loncat air dapat ditentukan dengan percobaan di laboratorium. Berikut adalah panjang loncatan menurut Smetana (1933) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$L = C (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- L = panjang loncat air (m)
- C = nilai konstanta C = 6
- h<sub>1</sub> = kedalaman air sebelum loncatan terjadi.
- h<sub>2</sub> = kedalaman air setelah terjadinya loncatan hidrolis.

Perhitungan panjang loncatan air pada Q2 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3. Panjang loncatan air pada Q2 untuk kemiringan hulu 3:0 adalah 4,2 cm dan tinggi muka air setelah terjadi loncatan hidrolis adalah 7,0 cm. sehingga panjang loncatan hidrolis didapatkan dengan  $C (h_2 - h_1) = 6 (7,0 - 4,2) = 37,8$  cm. Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran loncatan air (L), untuk pengambilan panjang loncatan itu dilakukan perbandingan hasil perhitungan panjang loncatan dengan hasil pengukuran. Untuk mengetahui hasilnya seperti apa dapat dilihat pada gambar 9 dimana gambar 9 merupakan hasil pengukuran dari penelitian menggunakan bendung bertangga dengan variasi kemiringan hulu 3:0, 3:1 dan 3:3.



Gambar 9. Panjang loncatan air pada Q2 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3.

Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa loncatan air mulai terjadi pada titik 9 sampai titik 16 atau posisi 315 cm sampai 350 cm, kemudian aliran kembali konstan. Panjang loncatan untuk kemiringan hulu yang berbeda mempunyai panjang loncatan yang sama yaitu 35 cm.

### Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan pada bendung bertangga dengan variasi kemiringan hulu 3:0, 3:1 dan 3:3 maka dapat dibuat pembahasan dimana pada penelitian ini tinggi muka air pada kemiringan hulu yang berbeda mempunyai pola yang sama. Kecepatan maksimal aliran pada kemiringan hulu yang berbeda berada pada kemiringan hulu 3:3. Nilai koefisien debit pada Q1, Q2 dan Q3 untuk setiap kemiringan hulu bendung bertangga adalah:

- Nilai koefisien debit pada Q1 untuk kemiringan hulu 3:0 = 4,9 kemiringan hulu 3:1 = 4,5 dan kemiringan hulu 3:3 = 3,4.
- Nilai koefisien debit pada Q2 untuk kemiringan hulu 3:0 = 5,6, kemiringan hulu 3:1 = 4,8 dan kemiringan hulu 3:3 = 3,6.
- Nilai koefisien debit pada Q3 untuk kemiringan hulu 3:0 = 5,0, kemiringan hulu 3:1 = 4,6 dan kemiringan hulu 3:3 = 3,7.

Dapat dikatakan bahwa dengan kemiringan hulu maka koefisien debit akan semakin rendah. Hal ini dapat diberikan penjelasan bahwa jenis aliran yang terjadi mempunyai pola yang sama. Pada penelitian ini didapatkan juga bahwa kemiringan hulu pada setiap debit tidak berpengaruh terhadap panjang loncatan hidrolisnya karena panjang loncatan hidrolis pada setiap debit dengan kemiringan hulu yang berbeda sama yaitu: panjang loncatan hidrolis pada Q1 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3 adalah 25 cm dan pada Q2 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3 adalah 35 cm kemudian pada Q3 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3 adalah 40 cm. Pada penelitian ini semakin besar kemiringan hulu bendung maka semakin kecil energy spesifik [10]. Energy spesifik pada kemiringan hulu 3:0 (vertical) lebih besar dari kemiringan hulu 3:1 dan 3:3, begitu pula energy spesifik pada kemiringan hulu 3:1 lebih besar dari kemiringan hulu 3:3.

### KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pada penelitian ini semakin besar kemiringan hulu bendung maka semakin kecil koefisien debitnya. Nilai koefisien debit (Cd) pada kemiringan hulu 3:0 (vertical) lebih besar dari kemiringan hulu 3:1 dan 3:3 begitu pula nilai Cd untuk kemiringan 3:1 lebih besar dari kemiringan 3:3.
- Penelitian ini terdapat 3 variasi debit yang berbeda yaitu: Q1, Q2, Q3 dan 3 variasi kemiringan hulu bendung bertangga setiap satu debit yaitu: 3:0 (vertical), 3:1 dan 3:3. Pada penelitian ini tinggi muka air pada kemiringan hulu yang berbeda mempunyai pola yang sama. Pada penelitian ini semakin besar debitnya maka akan semakin besar pula tinggi muka air dan kecepatannya.
- Pada penelitian ini kemiringan hulu pada setiap debit tidak berpengaruh terhadap panjang loncatan hidrolisnya karena panjang loncatan hidrolis pada setiap debit dengan kemiringan hulu yang berbeda sama yaitu: panjang loncatan hidrolis pada Q1 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3 adalah 25 cm dan pada Q2 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3 adalah 35 cm kemudian pada Q3 untuk kemiringan hulu bendung bertangga 3:0, 3:1 dan 3:3 adalah 40 cm. pada penelitian ini panjang loncatan untuk kemiringan hulu yang berbeda mempunyai pola yang sama. Apabila semakin besar debitnya maka akan semakin besar pula panjang loncatan hidrolisnya.
- Pada penelitian ini semakin besar kemiringan hulu bendung maka semakin kecil energy spesifik.

**SARAN**

1. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi anak tangga pada bendung bertangga.
2. Dapat dilakukan penelitian dengan memasang ground sill pada hilir bendung.

**REFERENCES**

- [1] M. K. Ihsan, "Analisis Pola Hidraulik Peredaman Energi pada Kolam Olak Tipe Vlughter di Hilir Pelimpah Bertangga dengan Model Fisik 2D," vol. 10, no. 1, pp. 39–052, 2022.
- [2] M. K. Ihsan, "PENGARUH BENTUK MERCU BENDUNG TERHADAP TINGGI LONCAT AIR KOLAM OLAK MODEL USBR IV (SIMULASI LABORATORIUM)," *Teras J.*, vol. 7, no. 1, p. 173, Feb. 2018, doi: 10.29103/tj.v7i1.124.
- [3] M. Y. Ali, H. Husaiman, and M. I. Nur, "Karakteristik Aliran Pada Bangunan Pelimpah Tipe Ogee," *Tek. Hidro*, vol. 11, no. 1, pp. 72–82, 2018, doi: 10.26618/th.v11i1.2441.
- [4] T. S. Indriyati, A. Malik, and Y. Alwinda, "Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah Faba (Fly Ash Dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan," *J. Tek.*, vol. 13, no. 2, pp. 112–119, 2019, doi: 10.31849/teknik.v13i2.3168.
- [5] A. Adiwilaga and I. Taufiqurrahman, "Sistem Pemantauan Ketinggian Permukaan Air Berbasis Wireless Pada Model Miniatur Bendungan," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 53–61, 2021, doi: 10.37058/jeee.v3i1.3673.
- [6] R. F. Aditya, E. P. Wahono, and S. Tugiono, "Analisis Perbandingan Pola Aliran Pada Bangunan Pelimpah Ogee Dan Stepped Dengan Model Fisik 2D," *Jrsdd*, vol. 9, no. 1, pp. 41–50, 2021, [Online]. Available: <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/view/1737>.
- [7] F. Daud S, A. R. Gifari, and A. A. Rani, "Uji Model Pengaruh Bentuk Pelimpah Terhadap Karakteristik Pengaliran," *Tek. Hidro*, vol. 11, no. 1, pp. 23–40, 2018, doi: 10.26618/th.v11i1.2437.
- [8] D. F. Maulida, P. T. Juwono, and R. Asmaranto, "Analisa Keruntuhan Bendungan Batujai dan Pengga dengan Aplikasi HEC-RAS 5.0.7," *J. Teknol. dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 1, no. 1, pp. 62–75, 2021, doi: 10.21776/ub.jtresda.2021.001.01.06.
- [9] Winda Harsanti, Susapto, and Moh. Charits, "Tipe Loncatan Air Pada Ambang Gerigi," *J. Tek. Ilmu Dan Apl.*, vol. 3, no. 2, pp. 114–118, 2022, doi: 10.33795/jtia.v3i1.104.
- [10] S. S. Saleh, R. Musa, and H. As'ad, "Kajian Karakteristik Aliran Terhadap Bangunan Pelimpah Pada Saluran Terbuka," *Tek. Hidro*, vol. 12, no. 2, pp. 40–52, 2019, doi: 10.26618/th.v12i2.2811.